

斑翅果蝇对四种非寄主果实的产卵选择适应性*

刘 燕^{1**} 谢东生² 张 峰³ 张金平³ 胡纯华³ 张建梅¹
熊 焰¹ 刘 冰¹ 董文霞^{1***}

(1. 云南农业大学植物保护学院, 昆明 650201; 2. 农业部对外经济合作中心, 欧洲合作处, 北京 100125;
3. 农业部-CABI 生物安全联合实验室, 北京 100193; 4. 云南农业大学职业与继续教育学院, 昆明 650201)

摘 要 【目的】针对斑翅果蝇 (Spotted wing *Drosophila*, SWD, *Drosophila suzukii* Matsumura) 常见寄主果实期较短, 评估 4 种非寄主果实 (香蕉、紫心火龙果、芒果、红提) 对斑翅果蝇种群的适合度, 筛选最佳饲养水果。【方法】测定了人工饲料饲养的斑翅果蝇对 4 种水果气味的选择反应及其产卵选择性, 比较了分别用 4 种水果饲养的斑翅果蝇的生物学特性 (产卵量、卵历期、孵化率、幼虫历期、化蛹率、蛹历期、羽化率、成活率、雌雄比)。【结果】斑翅果蝇对 4 种非寄主果实气味喜好为: 香蕉>芒果>红提>紫心火龙果, 产卵选择喜好表现为: 香蕉>紫心火龙果>芒果>红提, 且香蕉饲养的斑翅果蝇后代成活率最高, 各虫态历期最低。【结论】在 4 种非寄主果实中, 香蕉既能引诱斑翅果蝇, 也能刺激其产卵, 且后代成活率显著最高, 宜作为长期饲料进行实验室种群扩增。

关键词 斑翅果蝇, 非寄主植物, 产卵选择, 生物学特性

Oviposition preferences and reproductive success of *Drosophila suzukii* on 4 non-host fruits

LIU Yan^{1**} XIE Dong-Sheng² ZHANG Feng³ ZHANG Jin-Ping³ HU Chun-Hua³
ZHANG Jian-Mei¹ XIONG Yan¹ LIU Bing¹ DONG Wen-Xia^{1***}

(1. Plant Protection College, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. Division of European Affairs, Foreign Economic Cooperation Center Ministry of Agriculture, P. R. China China-EU Center for Agriculture Technology, Beijing 100125, China; 3. MOA-CABI Joint Laboratory for Bio-safety, Beijing 100193, China; 4. College of Continuing Education and Vocational Education, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract [Objectives] The spotted wing *Drosophila* (SWD), *Drosophila suzukii* Matsumura (Diptera: Drosophilidae), is a pest that infests small stone fruits and cherries in the majority of fruit-growing regions of the world. The fruiting season of the usual hosts of this pest is relatively short. In order to find a natural fruit that could replace artificial diets for rearing populations of SWD, its oviposition preferences and reproductive success on 4 non-host fruits (banana, pitaya, mango, and grape) were studied. [Methods] The olfactory responses and oviposition preferences of SWD reared on an artificial diet for each of the 4 non-host fruits were tested. In addition, the number of eggs laid, durations of the egg, larval, and pupal, periods, the hatching, pupation, emergence, and survival rates, plus the sex ratio, of SWD reared on each of the four fruits, were measured and compared. [Results] The non-host fruits could be ranked in terms of olfactory response as follows; banana>mango>grape>pitaya, and in terms of oviposition preferences as; banana>pitaya>mango>grape. The survival rate of SWD on banana was significantly higher than on the other 3 fruits, and the duration of each life-stage was significantly shorter on banana than on the other fruits. [Conclusion] Of the four fruits tested, SWD were most attracted by banana odor, and laid

*资助项目 Supported projects: 欧洲果树主要病虫害的高效实用创新型综合治理技术和策略项目 (Dropsa, 613678)

**第一作者 First author, E-mail: lyliuyan87@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: dongwenxia@163.com

收稿日期 Received: 2016-04-15, 接受日期 Accepted: 2016-08-23

most eggs on bananas. Reproductive productivity was also higher on banana than on the other fruits.

Key words spotted wing *Drosophila*, *Drosophila suzukii*, non-host, oviposition preference, biological characteristics

斑翅果蝇 (Spotted wing *Drosophila*, *Drosophila suzukii* Matsumura), 又名铃木氏果蝇、樱桃果蝇, 是果蝇属的一种多食性害虫, 可危害不同种类的浆果植物, 比如樱桃、蓝莓、黑莓、草莓、树莓、杏等, 同时可能存在其他潜在的寄主 (Santosh *et al.*, 2015)。斑翅果蝇生长发育速度较快 (22℃, 从卵到成虫只需要 2 周), 1 年内可发生多代 (Marc *et al.*, 2016)。在温湿度适宜的情况下, 斑翅果蝇种群扩增速度惊人, 近几年在北美 (Lee *et al.*, 2011, 2012)、欧洲地区 (Calabria *et al.*, 2012) 迅速蔓延。

绝大多数果蝇种类均以腐烂植物或者人类丢弃的食物为生, 还有一些果蝇可危害新鲜果实, 而斑翅果蝇仅危害新鲜浆果。其雌虫具有较大的、坚硬的锯齿形产卵器, 可以刺穿果皮, 将卵产在果皮下, 孵化出的幼虫取食新鲜水果, 造成水果产量和品质的下降 (Ian *et al.*, 2015)。另外, 被刺穿的果皮处可能会再次引起细菌、真菌感染, 或者被其他害虫再次危害, 造成二次危害 (Haye *et al.*, 2016)。

斑翅果蝇主要危害浆果植物, 但是其寄主植物存在一个特点, 即果实成熟期较短, 例如云南是杨梅和樱桃主要产地之一, 而樱桃 (4—5 月份), 杨梅 (5—6 月份) 果实期仅持续 2 个月左右, 其他常见寄主, 如草莓等也不能作为其长期饲养原料。现在斑翅果蝇常用的人工饲料主要成分为玉米、琼脂、红糖、酵母粉等 (吴军等, 2013), 使用过程不易保湿, 与用水果饲养相比, 斑翅果蝇成活率较低, 种群容易退化。因此, 迫切需要筛选出更适宜斑翅果蝇生长发育的水果, 以弥补寄主果实期较短的不足。我们的前期研究发现, 用云南常见 4 种水果, 香蕉、紫心火龙果、芒果、红提的果肉饲养斑翅果蝇, 斑翅果蝇生长发育状况良好, 并且饲养过程不会产生因饲料干裂、导致斑翅果蝇幼虫死亡的现象。因此, 本研究拟通过研究香蕉、紫心火龙果、芒果、红提对斑翅果蝇的产卵选择及生长发育影响, 筛选出最适合斑

翅果蝇生长发育的非寄主植物水果。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 供试昆虫 斑翅果蝇采集于云南农业大学冬樱花 *Prunus cerasoides* 果实, 室内饲养 (24±1)℃, L:D=14:10 (L: 6:30—20:30, D: 20:30—次日 6:30), 60%~70% RH。实验室斑翅果蝇种群由水果与人工饲料 (吴军等, 2013) 交替饲养, 嗅觉及产卵选择反应应用斑翅果蝇种群由人工饲料饲养 2~3 代后备用。

1.1.2 供试水果 实验所用的红提中间切开, 香蕉、紫心火龙果、芒果均为去皮后, 切开果肉, 供实验使用。

1.2 研究方法

1.2.1 卵量 将初羽化的成虫 (10♀10♂) 放入同一透明玻璃容器 (2 200 mL, 高 19 cm, 最大直径 18 cm, 口径 8.2 cm) 中, 选取 4 粒重量、个头大小相同的红提, 中间切开 (剖开的红提果肉易于统计卵粒数量), 分别单独放入玻璃瓶中, 每天更换红提, 并统计红提上落卵量, 记录斑翅果蝇日产卵量, 重复 4 次。

选取产卵高峰期成虫 (10♀10♂), 处理如上, 每 1.5 h 更换红提 1 次, 统计斑翅果蝇 1 d 内产卵高峰期。

1.2.2 卵历期 在产卵高峰期, 集中收集卵粒 6 h, 100 粒一组, 后每隔 2 h 统计孵化幼虫数, 重复 4 次。

1.2.3 卵孵化率 孵化率 (%) = 孵化幼虫数/总卵量×100。

1.2.4 幼虫历期 将初孵化幼虫按 1:1 (幼虫数/水果质量 (g)) 接到水果上, 每组 100 只幼虫, 每天统计化蛹数, 然后将蛹分别单装于小玻璃瓶 (h: φ=50 mm: 20 mm) 中, 重复 4 次。

1.2.5 化蛹率 化蛹率 (%) = 化蛹数/实验幼虫

数 $\times 100$ 。

1.2.6 蛹历期 每天观察放入玻璃瓶中蛹羽化情况, 统计新羽化成虫数, 并记录雌雄比例。

1.2.7 羽化率 羽化率 (%) = 羽化成虫数/实验蛹数 $\times 100$ 。

1.2.8 嗅觉反应 Y-型玻璃嗅觉仪主臂长 15 cm, 侧臂长 10 cm, 内经均为 2 cm; 两侧臂间夹角为 30°, 且互相对称。两侧臂端为磨砂口, 且分别接 100 mL 球形磨砂口容器, 主臂端接一磨砂口转接头, 然后用特氟龙软管连接大气采样仪, 进行抽气处理。光强度 1 500 lx, 风速 200 L/min, 温度 (24 $\pm$ 1) °C, 湿度: 60%~70% RH。

分别称取 25 g 水果置于 Y-型嗅觉仪一侧臂球形瓶内, 另一侧臂球形瓶为空白对照, 将 10 只已交配雌虫 (产卵高峰期) 置于主臂端转接头内, 在主臂端进行抽气 200 L/min, 15 min 后统计两侧臂成虫数量。重复 10 次。

称取 2 种不同的水果各 25 g, 分别置于 Y-型嗅觉仪的两侧臂端, 其他操作如上, 分别统计两侧臂成虫数量, 重复 10 次。

1.2.9 产卵选择 选取 10 对 (10♀10♂) 斑翅果蝇置入养虫笼中 (30 cm $\times$ 30 cm $\times$ 30 cm)。称取 4 种不同非寄主植物果实各 100 g, 同时置入同一养虫笼中, 24 h 后置换水果, 并统计不同水果上卵量 (因香蕉果肉颜色与斑翅果蝇卵粒颜色相近, 无法统计, 故统计化蛹数量), 重复 4 次。

1.3 数据分析

将数据用卡方检验 ($P < 0.05$) 或 SPSS (17.0) 单因素方差分析 (AVONA), Duncan's 多重比较分析数据间显著性差异。

2 结果与分析

2.1 斑翅果蝇的产卵高峰期

斑翅果蝇羽化后第 3 天开始产卵, 产卵行为可持续 43 d, 且羽化后第 5 至第 6 天为产卵高峰期, 单雌一日产卵量最多可达 12 粒 (图 1)。

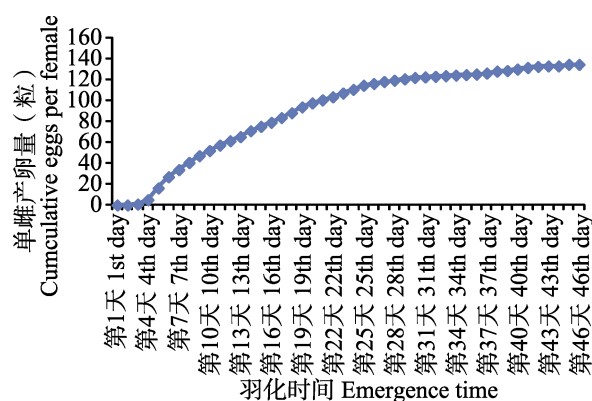


图 1 斑翅果蝇单雌累积产卵量

Fig. 1 Cumulative eggs by individual female *Drosophila suzukii*

选取 5~7 日龄斑翅果蝇, 日产卵高峰主要集中在 12:30—20:00 (图 2)。

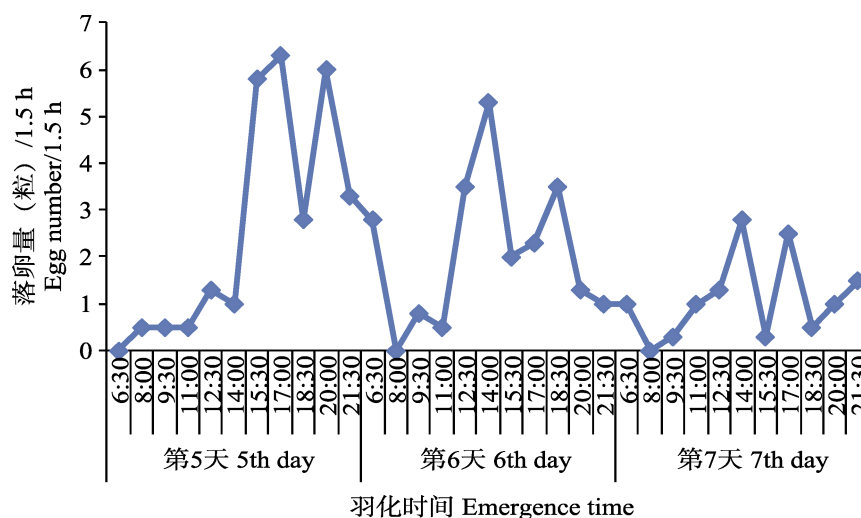


图 2 10 只斑翅果蝇雌虫日产卵量

Fig. 2 Eggs laid by 10 female *Drosophila suzukii* in one day

2.2 斑翅果蝇对 4 种非寄主果实的嗅觉反应

4 种不同非寄主植物果实, 处理组成虫数均极显著高于对照组 ($P<0.01$), 表明 4 种非寄主植物果实气味均能极显著引诱斑翅果蝇 ($P<0.01$) (图 3)。

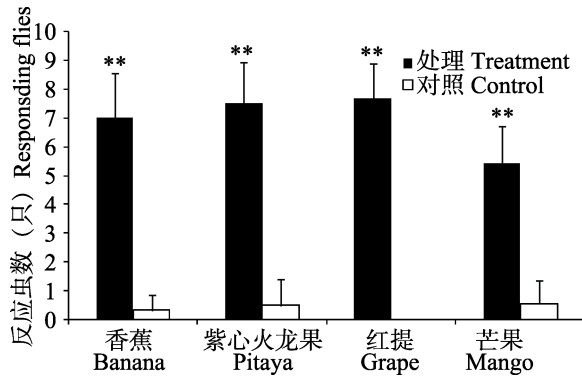


图 3 已交配斑翅果蝇雌虫在 Y-型嗅觉仪中对非寄主果实气味的选择反应

Fig. 3 Choices of *Drosophila suzukii* to the odors of non-host fruit in Y-tube

**表示在 0.01 水平下, 处理与对照间存在显著差异。图 4 同。

Histograms with double asterisks indicate significant difference between treatment and control at the level of 0.01. The same as Fig. 4.

Y-型嗅觉仪生物测定结果表明, 斑翅果蝇对不同非寄主果实偏好性为香蕉>芒果>红提>火龙果 ($P<0.05$) (图 4)。

2.3 斑翅果蝇对非寄主植物产卵选择及后代成活率比较

斑翅果蝇对不同非寄主果实产卵选择实验结果显示, 产卵偏好结果为香蕉>紫心火龙果>芒果>红提 (图 5)。

香蕉饲养的斑翅果蝇, 其羽化率、成活率、雌雄比均显著高于由其他 3 种水果饲养的斑翅果蝇, 且其成活率及后代雌雄也均显著高于其他 3 种水果饲养所得 ($P<0.05$), 并且由香蕉饲养的斑翅果蝇其余生物学指标 (幼虫历期、化蛹率、蛹历期) 也最好。香蕉成活率为 (63.6 ± 5.0)%, 远远高于紫心火龙果 (31.1 ± 5.8)%, 红提 (34.6 ± 7.0)%, 芒果 (36.5 ± 7.2)%, 雌雄比也是香蕉 (1.9 ± 0.4) 显著高于其他 3 种非寄主植物果实。另外, 香蕉上幼虫历期 (3.3 ± 1.0)d 与蛹历期 (4.7 ± 0.1)d 也显著较低。因此, 香蕉为最适天然饲料 (表 1)。

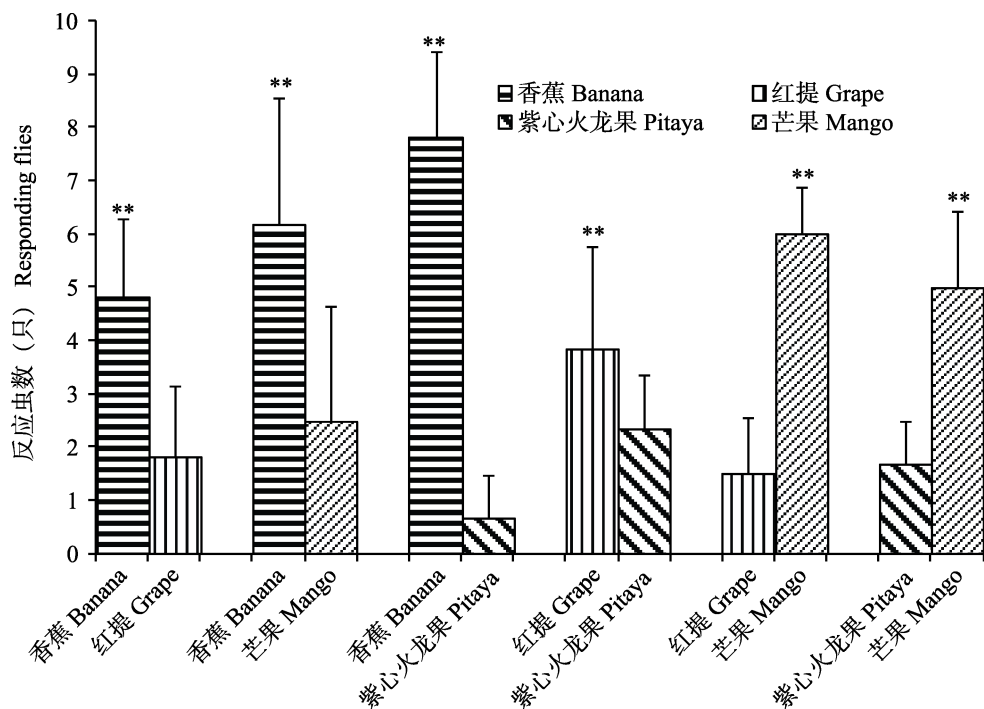


图 4 已交配斑翅果蝇雌虫对不同非寄主植物果实的选择反应

Fig. 4 Choices of *Drosophila suzukii* to the odors of non-host fruits in Y-tube

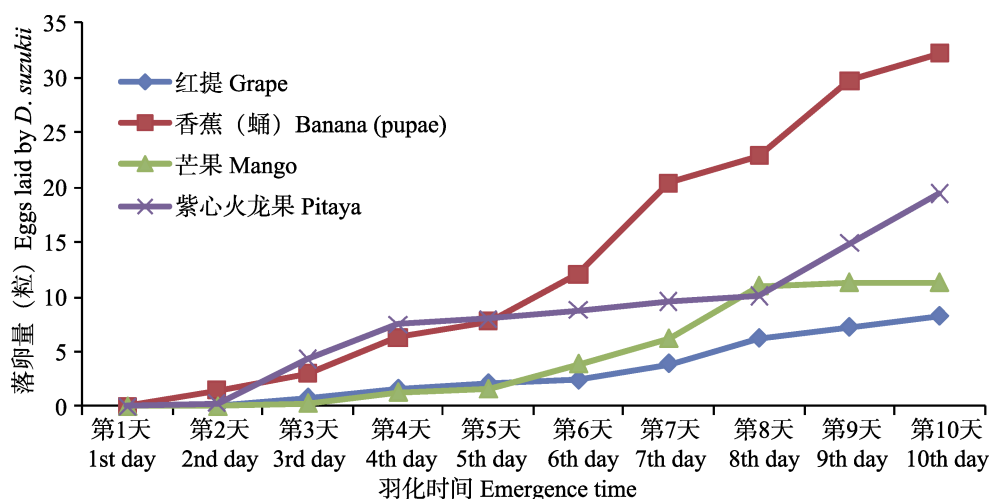


图 5 斑翅果蝇产卵选择

Fig. 5 Oviposition choices for different non-host fruits by *Drosophila suzukii*

表 1 斑翅果蝇在不同非寄主果实上的存活率

Table 1 The survival rate of *Drosophila suzukii* reared by different non-host fruits

水果 Fruit	卵历期 (h) Egg duration	孵化率 (%) Hatching rate	幼虫历期 (d) Larva duration	化蛹率 (%) Pupation rate	蛹历期 (d) Pupa duration	羽化率 (%) Hatching rate	成活率 (%) Survival rate	雌雄比 (♀:♂) Sexual ratio
香蕉 Banana	—	—	3.3±1.0 a (3-5)	79.6±5.9 a	4.7±0.1 a (3-5)	80.0±4.5 a	63.6±5.0 a	1.9±0.4 a
紫心火龙果 Pitaya	28.4±1.2a (4-46 h)	90.0±2.2a	4.9±0.5 b (3-8)	50.1±8.5 c	4.5±0.1 a (3-6)	69.5±8.5 b	31.1±5.8 b	1.0±0.5 b
红提 Grape	25.5±0.8a (2-42 h)	91.2±1.5a	3.8±0.6 a (3-7)	75.8±12.4 a	5.3±0.4 b (3-8)	50.1±21.4 c	34.6±7.0 b	1.3±0.7 b
芒果 Mango	27.3±2.0a (2-42 h)	92.2±1.2a	3.9±0.1 a (3-6)	60.9±2.1 b	5.3±0.1 b (3-8)	64.8±8.9 b	36.5±7.2 b	1.2±0.1 b

表中数据为平均数±标准差, 不同字母表示在 0.05 水平下, 各水果间存在显著差异。接幼虫数与水果重量为 1 : 1。括号内数据表示卵、幼虫及蛹的持续时间。因为斑翅果蝇卵粒颜色与香蕉颜色相同, 无法统计香蕉上卵粒, 故香蕉上卵历期及孵化率未做统计。

Data are mean±SD, and followed by the different letters indicate significant difference at the level of 0.05. The number of larvae to the weight of fruit is 1 : 1. The data inside the brace means the duration of eggs, larvae and pupae. The egg duration and hatching rate are not tested because the colour of egg and the banana is the same.

3 讨论

斑翅果蝇对 4 种非寄主果实的嗅觉反应结果为香蕉>芒果>红提>紫心火龙果, 而产卵选择结果为香蕉>紫心火龙果>芒果>红提, 即便香蕉无法统计卵量, 排除卵及幼虫死亡数量统计, 化蛹数也比其他 3 种非寄主果实落卵量多。推测香蕉果肉中可能存在某些此生代谢物质, 可以引诱斑翅果蝇, 并刺激其产卵于香蕉果肉内, 但在自然界中由果皮包裹, 而无法直接引诱斑翅果蝇。

有人认为羽化率较高的昆虫更利于其后期发展 (刘慧等, 2014)。从成活率角度看, 斑翅果蝇在香蕉上的化蛹率及羽化率均最高, 表明香蕉更适合斑翅果蝇后代发育。也有人通过发育历期评价寄主适应性, 认为发育历期短的寄主适合实蝇, 果实中先孵化出来的幼虫将取得优势 (张智英等, 2011), 而斑翅果蝇在香蕉上的幼虫历期与蛹历期也相对较短, 也进一步验证了香蕉更适合斑翅果蝇后代发育。

针对植食性昆虫对其寄主植物的产卵选择

适应性问题,在相关研究中,出现了“选择性与适合度”假说(Oviposition-preference-offspring-performance hypothesis),后简化为(Preference-performance hypothesis, PPH)(Gripenberg *et al.*, 2010)。该假说认为,昆虫幼虫期不适宜远距离爬行,因此雌成虫将会最大限度的产卵于适合幼虫发育的寄主上。很多人在他们的研究中证实了昆虫的产卵选择性与后代的良好发育具有很好的正相关,支持了该假说(Matsukura *et al.*, 2012)。本研究也利用非寄主植物进一步验证了该假说。

植食性昆虫对寄主的选择性是经过长期自然选择与适应的结果,使得各种昆虫对特定寄主选择表现出多样性或专化性(刘慧等, 2014)。本研究表明,斑翅果蝇对4种供试的非寄主植物果实具有很强的生态可塑性,表现为在自然条件下几乎不取食的非寄主,在人工条件下却也适合幼虫的正常发育。

有一种说法,在环境适宜情况下,雌虫偏多,有利于种群繁殖。而本研究表明,4种非寄主果实等量饲养斑翅果蝇,最后香蕉中羽化的斑翅果蝇雌雄比远远高于其他3种非寄主果实,更进一步验证香蕉为测试非寄主果实中最适宜斑翅果蝇的水果。香蕉在云南全年可以购买,价格也比较便宜。因此,我们推荐香蕉作为饲养斑翅果蝇的天然饲料。

参考文献 (References)

- Calabria G, Maca J, Bachli G, Serra L, Pascual M, 2012. First records of the potential pest species *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in Europe. *Journal of Applied Entomology*, 136(1/2): 139–147.
- Gripenberg S, Mayhew PJ, Parnell M, Roslin T, 2010. A-meta analysis of preference-performance relationships in phytophagous insects. *Ecology Letters*, 13(3): 383–393.
- Haye T, Girod P, Cuthbertson AGS, Wang XG, Daane KM, Hoelmer KA, Baroffio C, Zhang JP, Desneux N, 2016. Current SWD IPM tactics and their practical implementation in fruit crops across different regions around the world. *Journal of Pest Science*, 89(3): 643–651.
- Keesey IW, Knaden M, Hansson BS, 2015. Olfactory specialization in *Drosophila suzukii* supports an ecological shift in host preference from rotten to fresh fruit. *Journal of Chemical Ecology*, 41(2): 121–128.
- Lee CJ, Bruck DJ, Curry H, Edwards D, Haviland DR, Van Steenwyk RA, Yorgey BM, 2011. The susceptibility of small fruits and cherries to the spotted-wing drosophila, *Drosophila suzukii*. *Pest Management Science*, 67(11): 1358–1367.
- Lee J, Burrack H, Barrantes L, Beers E, Dreves A, Hamby K, Haviland D, Isaacs R, Richardson T, Shearer P, Stanley C, Walsh D, Walton V, Zalom F, Bruck D, 2012. Evaluation of monitoring traps for *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in North America. *Journal of Economic Entomology*, 105: 1350–1357.
- Liu H, Hou BH, Zhang C, He RR, Liang F, Guo MF, Wu MT, Zhao JP, Ma J, 2014. Oviposition preference and offspring performance of the orient fruit fly *Bactrocera dorsalis* and guava fruit fly *B. correcta* (Diptera: Tephritidae) on six host fruits. *Acta Ecologica Sinica*, 34(9): 2274–2281. [刘慧, 侯柏华, 张灿, 何日荣, 梁帆, 郭明防, 武目涛, 赵菊鹏, 马骏, 2014. 桔小实蝇和番石榴实蝇对6种寄主果实的产卵选择适应性. 生态学报, 34(9): 2274–2281.]
- Marc K, Lorenzo T, Rene E, Bart van der S, Manuel S, Nicola M, Tim H, Herman H, 2016. Non-crop plants used as hosts by *Drosophila suzukii* in Europe. *Journal of Pest Science*, DOI: 10.1007/s10340-016-0755-6.
- Matsukura K, Matsumura M, Tokuda M, 2012. Host feeding by an herbivore improves the performance of offspring. *Evolutionary Biology*, 39(3): 341–347.
- Santosh R, Silvia V, Marco VRS, Sukanya R, Suzan M, Silvia C, Urska V, Paul GB, Valerio M, Omar RS, Sergio A, Teun D, Gianfranco A, 2015. Olfactory response of *Drosophila suzukii* females to host plant volatiles. *Physiological Entomology*, DOI: 10.1111/phen.12088.
- Wu J, Liao TL, Sun P, Shi ZH, Chen JH, 2013. Bionomics of *Drosophila suzukii* Matsumura, 1931 (Diptera: Drosophilidae). *Plant Quarantine*, 27(5): 36–41. [吴军, 廖太林, 孙鹏, 师振华, 陈集瀚, 2013. 斑翅果蝇生物学特性研究. 植物检疫, 27(5): 36–41.]
- Zhang ZY, Zhao B, Zhang L, Liang HJ, 2011. The host preference experiment of *Bactrocera correcta*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(2): 359–363. [张智英, 赵波, 张亮, 梁华娟, 2011. 番石榴实蝇寄主选择性实验. 应用昆虫学报, 48(2): 359–363.]